

Zárójelentés - K48985

Védett hálózatok tervezése és megbízhatósági analízise DiR modell alkalmazása esetén

Vezető kutató: Jereb László

A kommunikációs hálózatok növekvő társadalmi hatása együtt jár azzal, hogy hibamentes, illetve hibatűrő működésük egyre kritikusabb működtetési és ezért tervezési kérdéssé vált. A különböző védelmi és helyreállítási megoldások több szinten, eltérő reakcióidővel és eltérő erőforrás (költség-) felhasználással teszik lehetővé az elkerülhetetlenül bekövetkező meghibásodások hatásának csökkentését vagy megszüntetését.

A pályázat három fő célkitűzést kívánt elérni: Csatlakozva Andrea Fumagalli professzor (University of Texas at Dallas) csoportja által elért eredményekhez az úgynevezett DIR (Differentiated Reliability) témakörben azok továbbfejlesztésével kívántunk hozzájárulásokat tenni. Másrészt építve a korábban az OTKA T11-30685 pályázat keretében kifejlesztett megbízhatósági analízis módszerekre, amelyek elsősorban a többretegű hálózatmodellre és a rétegezett mintavételezésre alapoztak, ezen eredményeket kívántuk továbbfejleszteni, és végül össze kívántuk kapcsolni a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem és a Nyugat-Magyarországi Egyetemen fenti témakörű kutatási tevékenységeit.

A kutatás eredményeként évente 6-10 nemzetközi publikációt, valamint az időszak végére 1-3 PhD értekezés elkészítését terveztük, több doktorandusz és nappali hallgató bevonásával.

A továbbiakban röviden összefoglaljuk az elért főbb eredményeket a kapcsolódó publikációk kulcsgondolatainak rövid összefoglalásával és felsorolásával.

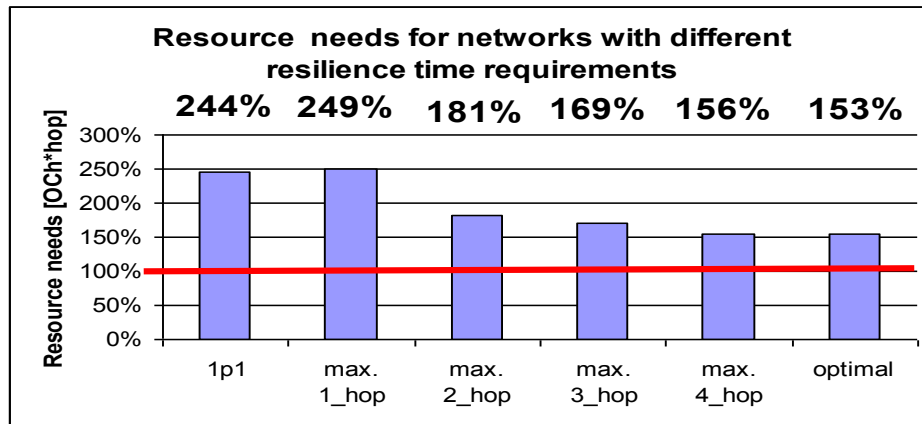
1. Védett optikai hálózatok architektúrális és algoritmikus kérdései

A projekt első szakaszában a kutatási tevékenység elsősorban a védett optikai hálózatok tervezésének architektúrális és algoritmikus vonatkozásaira koncentrált, ebbe beleértve a DIR típusú hálózatvédelmi megoldások mellett a gyors, valós idejű optikai csatorna szolgáltatást nyújtó megoldások megbízhatósági vonatkozásait is.

Az elért eredmények részben osztott védelmi megoldások on-line kapcsolatok létrehozása esetén azok rendelkezésre állási analízisére adtak megoldást, másrészt a rendelkezésre állás és tartalékkapacitások erőforrás-megosztása közötti kapcsolatot elemezték ([PAN01], [PAN02]).

Az elméleti eredmények sikeresen hozzájárultak a COST 270-es projekt (<http://www.cost270.com/>) magyar teljesítéseihez ([LAK01]), míg az architektúrális, tervezési-algoritmikus és szolgáltatási kérdések együttes kezelésére vonatkozó eredmények az IST-MUPBED projekt keretében alkalmazva és továbbfejlesztve hasznosultak (<http://www.ist-mupbed.org/mupbedhome.html>)).

Egy magyar nyelvű publikáció (UNG01) a Magyar Telekom lapjában foglalta össze a DIR alapú megközelítés és tervezés lényegét. A kutatások ezen szakaszának kulcseredményeiről több csatlakozó publikáció számolt be meghatározó magyar részvétel mellett, impakt faktoros közleményeket is eredményezve részben az University of Texas at Dallas kutatói részéről ([PAN03], [PAN04]), részben pedig az alapkutatási eredményeket felhasználó európai projektek részéről ([SZE01]). Az eredmények között különösen érdekesek voltak a többkomponensű hibák kezelésével kapcsolatosak ([PAN03]), amelyek Pándi Zsolt 2007-ben megvédett PhD értekezésének is fontos részét képezték ([PAN03]).



1. ábra *Tartalékkapacitás-szükséglet a helyreállító utakra vonatkozó különböző szakaszszám-korlátok esetén*

A [LAK01]-ből kiemelt ábra eredményei a hálózatvédelem egy új, alkalmazás-orientált vonatkozását, a védelmi szolgáltatás minőségével kapcsolatos modellezési kutatások eredményeit illusztrálják. Az idézett cikk ASON/GMPLS hálózatokban alkalmazott védelmi szolgáltatások helyreállítási időire (*Time to Recovery*) vonatkozó előírásainak tervezési modellezését vizsgálta. Az egyszerűsített modell szerint egy optikai csatorna szolgáltatás helyreállítási ideje a helyreállító út konfigurálásában aktív szerepet játszó optikai kapcsolók (OXC) számával arányos. Egy-egy szolgáltatásra vonatkozóan, alapesetben a szükséges kapcsolók számának minimumát a topológia meghatározza, bizonyos kapcsolók előzetes konfigurálásával a hiba esetén aktív szerepet játszóók száma azonban csökkenthető. A helyreállító út felépítése így gyorsabb lesz, de ennek ára, hogy a több szakaszon előrekonfigurált tartalékok a különböző hibaállapotok tartalék-erőforrásainak osztott megvalósítását korlátozhatják.

Az 1. ábra egészértékű lineáris programozási (ILP) modell alapján határozza meg

- a legrövidebb helyreállítási időt biztosító csak a vevőoldali végpontban kapcsolt 1+1 dedikált optikai csatorna védelmi megoldás (*1p1*), valamint
- a hosszabb helyreállítási idővel járó maximum egy (*max. 1_hop*),
- két (*max. 2_hop*),
- három (*max. 3_hop*), illetve
- négy szakaszon (*max. 4_hop*)

kapcsolt védelmi megoldásokra alapozott hálózat erőforrás-szükségletét.

Az eredmények egyszerű áttekinthetősége érdekében az erőforrás-szükséglet a nem védett szolgáltatások megvalósításához felhasznált erőforrás-mennyiséget tekinti referenciának (100%), valamint a nem korlátozott helyreállítási idejű klasszikus átrendezhető tartalékhálózatra vonatkozó eredményt (*optimal*) is megadja.

Az ábra eredményei alapján látható, hogy a rövidebb helyreállítási idővel járó védelmi szolgáltatások – a tartalékok csökkenő mértékű megoszthatósága miatt – nagyobb erőforrás-szükséglettel járnak.

A munka gyakorlati vonatkozású eredménye az a tervezési modell, amely különböző helyreállítási idő követelményekkel megadott védett optikai csatorna szolgáltatások együttes tervezését támogatja.

Támogatott publikációk:

[PAN01] Zs. Pándi, Á. Gricser, „Availability Analysis of Shared Protection Schemes for On-line Connection Provisioning”, IV Workshop in G/MPLS Networks, Girona, Spain, April, 2005

[PAN02] Zs. Pándi, Á. Gricser, „Analysis of the Trade-off between Availability and Backup Resource Sharing”, IEEE ICTON 2005 Conference, Barcelona, Spain, July, 2005

[LAK01] Zs. Lakatos, P. Szegedi, „Effective Resilience Design for Recovery Time Restricted Applications”, DRCN 2005 Conference, Island of Ischia, Italy, October, 2005

[PAN05] Zs. Pándi, „Assessing and Guaranteeing Availability in Networks with Multiple Failures”, PhD Thesis, Budapest University of Technology and Economics, 2005.

[UNG01] Unghváry F.: „Megbízhatóság-központú tervezés”, Magyar Távközlés, Vol. XVII/2, pp. 13-17., 2006

További hivatkozott publikációk

[SZE01] Peter Szegedi, Zsolt Lakatos, Jan Späth, „Signaling Architectures and Recovery Time Scaling for Grid Applications in IST Project MUPBED”, IEEE Communications Magazine, March, 2005, Special Issue on GRID, Vol. 44, Issue 3, March 2006, pp. 74-82

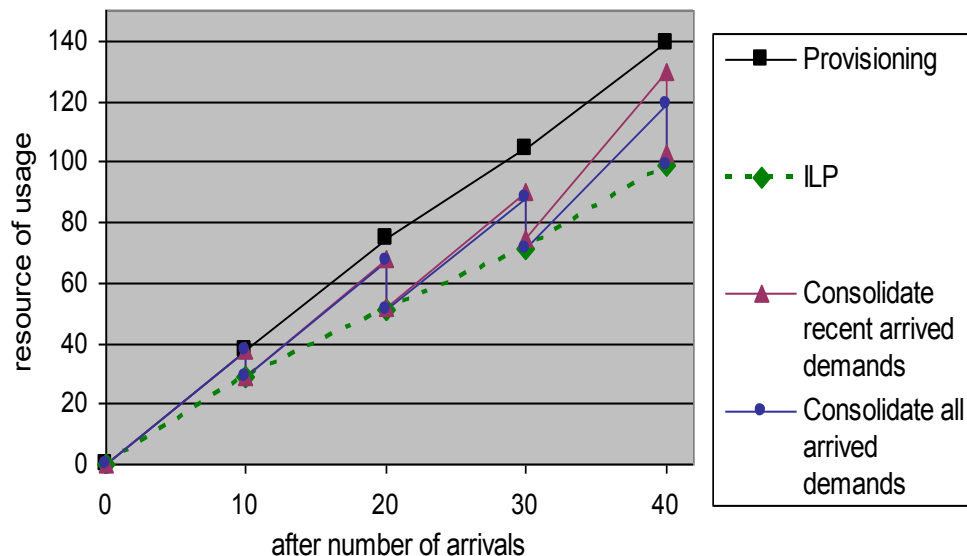
[PAN03] Zs. Pándi, M. Tacca, A. Fumagalli, „Efficient Computation of Multi-Component Failure Stratum Probabilities”, IEEE Communications Letters, Vol. 9., No. 10., October, 2005, pp. 939-941

[PAN04] Zs. Pándi, M. Tacca, A. Fumagalli, „A Threshold Based On-line RWA Algorithm with Reliability Guarantees”, ONDM 2005 Conference, February 2005, Milan, Italy
http://cctic90.hit.bme.hu/~zspandi/publ/2005/ondm2005_paper_12.4.pdf

2. Hálózatkonszolidáció tervezése

Ugyancsak a projekt első szakaszában kapott jelentős hangsúlyt a védett hálózatok tervezésének egy sajátos kérdése, a gyors, valós idejű optikai csatorna szolgáltatások konfigurálása során kialakuló hálózatok konszolidálása, azaz a védett hálózatok időszakos átrendezése. Ezen átrendezések szükségessége abból adódik, hogy a hálózatok folyamatos bővítése jellegzetesen korlátozott kapacitások mellett történik, így szükségszerűen jönnek létre azok a megoldások, amelyek hosszabb távon nem optimálisak. A nem optimálisan megvalósított hálózatok konszolidálásának algoritmikus kérdéseivel több publikációnk is foglalkozott ([KAR01], [KAR02], [KAR03]).

A témakörben készült publikációk a hálózatok konszolidálási stratégiáival és algoritmusaival foglalkoztak, választ keresve és adva ezen gyakorlatban fontos témakör kritikus modellezési és analízis kérdéseire. Az eredmények számos konferencia közleményben, és 1-1 magyar és idegen nyelvű folyóiratcikkben jelentek meg.



2. ábra A beérkezett igények kiszolgálásához szükséges erőforrás-mennyiség a hálózat által aktuális kiszolgált igények függvényében, a különböző szolgáltatás-konfigurálási stratégiák alapján

A [KAR06]-ból kiemelt ábra a kutatás motivációinak és alapvető eredményeinek illusztrálására szolgál. A hálózatátrendező heurisztikus algoritmusok minősítéséhez, referenciaként elkészült a probléma egészértékű lineáris programozási (ILP) modellje. Az ennek alapján előállított egzakt eredményekkel összevetve lehet a különböző heurisztikus megoldások jóságát, hatékonyságát értékelni. A 2. ábrán bemutatott eredmény sor – az ILP modell skálázási korlátai miatt – egy kisebb méretű hálózaton illusztrálja a annak két egyszerű heurisztikának a hatását, amelyek egyike minden esetben csak a legutóbbi hálózatátrendezés óta beérkezett igények kiszolgálásának együttes újraoptimalizálásával (*Consolidate recent arrived demands*), illetve minden esetben a hálózat által kiszolgált összes igény együttes újraoptimalizálásával

(*Consolidate all arrived demands*) javítja a hálózati erőforrások kihasználtságának hatékonyságát. Az ábra vízszintes tengelye a beérkezett szolgáltatási igények aktuális számát, függőleges tengelye a kiszolgálásukhoz szükséges erőforrás-mennyiséget (optikai csatorna*szakasz) mutatja.

A kutatás alapvető motivációját jelentő újraoptimalizálással elérhető nyereség mértéke az egyszerű szolgáltatás-konfigurálási folyamat (*Provisioning*) erőforrás-igényével összevetve határozható meg. Az eredmények alapján megállapítható, hogy egy kisméretű hálózat esetén is jelentős erőforrás-megtakarítások érhetők el az egyszerű szolgáltatás-konfigurálási folyamatban az igények beérkezési sorrendjétől függően kialakított hálózati konfiguráció korrigálásával (a vizsgált folyamat végén ez a megtakarítás mintegy 40%-os). Megállapítható továbbá, hogy az alkalmazott heurisztika az ILP által előállított egzakt optimumhoz nagyon közeli eredményeket képes szolgáltatni.

Az eredmények gyakorlati jelentősége az erőforrás-nyereségben áll. Ennek alapján a folyamatosan növekvő hálózati forgalom kiszolgálásához szükséges hálózat-bővítések szükségessége később jelenik meg, hiszen a hatékonyabb erőforrás-felhasználás a meglévő erőforrásokkal nagyobb mennyiségű szolgáltatásigényt képes befogadni. A témakör eredményei a hálózatok üzemeltetési és vezérlési vonatkozásaival kibővítve a napjainkban egyre növekvő jelentőségű önszervező-önoptimalizáló hálózatok kutatási területeinek infrastruktúra-hálózatokra történő kiterjesztését alapozzák meg.

Támogatott publikációk:

[KAR01] T. Kárász, Zs. Pándi, T. Jakab, „Network Consolidation - How to Improve the Efficiency of Provisioning Oriented Optical Networks”, DRCN 2005 Conference, Island of Ischia, Italy, October, 2005 LINK

[KAR02] T. Kárász, Zs. Pándi, „Optimal reconfiguration of provisioning oriented optical networks”, HET-NETs 2005 Conference, Ilkley, United Kingdom, July, 2005

[KAR03] T. Kárász, Zs. Lakatos, „A potential consolidation approach to improve the efficiency of SWAP multi-class optical channel provisioning algorithm”, NOC2005, 10th European Conference on Networks & Optical Communications, July 5th - 7th, 2005, London

[KAR04] T. Kárász, „Simple provisioning, complex consolidation – An approach to improve the efficiency of Provisioning Oriented Optical Networks”, Proceedings of CSNDSP 2006, Proceedings of CSNDSP, 2006

[KAR05] T. Kárász, „Valós időben konfigurált optikai csatorna szolgáltatást nyújtó hálózatok kapacitás-kihasználtságának javítása konszolidáció alkalmazásával”, Híradástechnika, vol. LXI, no. 2, Febr., pp. 47-53, 2006

[KAR06] T. Kárász, „Consolidation strategies of provisioning oriented optical networks”, Journal of Optical Networking, Optical Society of America (OSA), vol. 5, no. 6, June, pp. 445-462, 2006

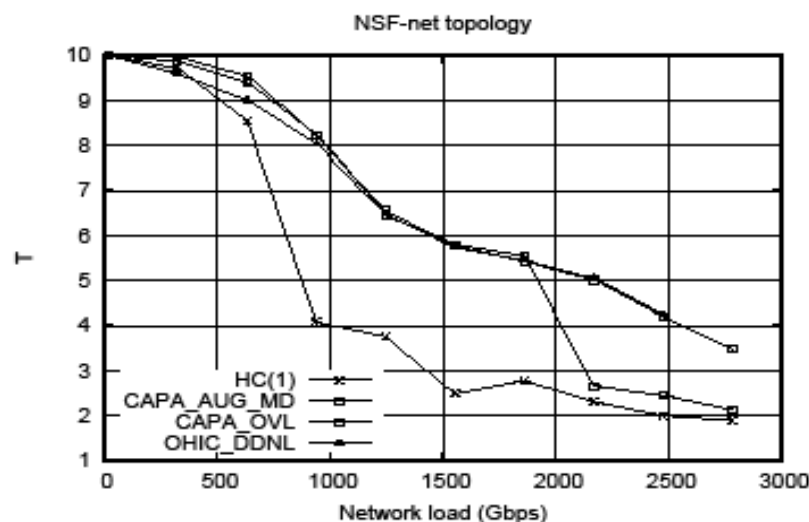
[KAR07] T. Kárász, T. Jakab, „Simple provisioning, complex consolidation – A pragmatic step towards a new optical layer”, Proceedings of ICISP 2006, Cote d’Azur, France, August, 2006

[KAR08] T. Kárász, T. Jakab, B. Kárász, P. Wilcsinszky, „Triggering approaches for the consolidation of provisioning oriented optical networks”, Proceedings of NOC, Berlin,, 2006

3. IP hálózatok tervezése és a gyakorlati tervezést támogató modellezési környezet fejlesztése

A projekt második szakaszában a korábban elért eredmények kétirányú továbbfejlesztése történt. Egyrészt WDM feletti IP hálózatok tervezése jelent meg PhD értekezésben ([ZSO01]), illetve ezen eredmények folytatásaként további publikációk készültek a forgalmi kötegelés (grooming) témakörében, amely eredmények konferencián, illetve trentói egyetemi előadáson kerültek bemutatásra ([ZSO02], [FAR01]). Az eredmények másik vonalát ebben a szakaszban hálózatmodellezési eredmények születtek, amelyek részben nemzetközi konferencián, részben magyar nyelvű folyóiratcikkekben kerültek közlésre ([JER01], [SIP01]). [ZSO03], [BAB01]).

Az egymás szolgáltatásaira épülő hálózati rétegekben alkalmazott megoldások egymásra-hatását jól illusztrálja a WDM feletti IP hálózatok esete. Kutatási eredményeink ebben a témakörben az egyes rétegek külön-külön történő teljesítmény-vizsgálata helyett a rétegek lehetséges együttműködési politikáinak összehasonlításán alapulnak. Korábbi munkánk folytatásaként a dinamikus forgalomkötegelés bővített (augmented) architektúrán történő megvalósítását vizsgáltuk. Előnyei ellenére erről az architektúráról kevés korábbi publikáció született szemben az elválasztott (overlay) és az egységes (peer) megoldással. Kapcsolódó közleményeinkben több új algoritmust is bemutattunk és ezeket az IP forgalomban használatos visszacsatoló protokollokhoz (TCP) illeszkedő forgalmi modell mellett, több szempontból összehasonlítottuk (illusztráció).



3. ábra Az elasztikus folyamatok átlagos sávszélessége különböző terhelések a különböző kötegelési megoldások esetén

A másik témakör eredményei az általános értelemben vett többretegű hálózat modellezési kérdései köré csoportosultak. A kutatás során olyan hálózatmodellt dolgoztunk ki, melynek fő előnyei a technológia-független megközelítésben és a rugalmas bővíthetőségben rejlenek. A modell alkalmazása IP hálózatokra, illetve az alatta lévő rétegekre, lehetővé tette többek között valós méretű hálózatok hatékony megbízhatósági elemzését. A modellhez kapcsolódóan olyan tervezőrendszert alakítottunk ki, mely akár hálózat-nyilvántartási adatsorok alapján felépített modelleken képes hálózat-tervezési és elemzési funkciókat nyújtani. Az adatok konzisztenciáját támogatandó, bevezettük az emlékező hálózati modell koncepciót is.

Támogatott publikációk:

[ZSO01] Z. Zsóka: Performance modelling and analysis of IP over WDM Networks, PhD Thesis, 2006

[JER01] Jereb L., Sipos A.: Hálózatok tervezése és analízise, Magyar Tudomány, 2007/7, pp. 880-887, 2007

[ZSO02] Z. Zsóka, B. Farkas, R. Lo Cigno, „Augmented Grooming in IP over Optical Networks with Elastic Traffic”, Proc. of International Symposium on Performance Evaluation of Computer and Telecommunication Systems, SPECTS 2008, Edinburgh, page 1-7.

[FAR01] B. Farkas, „Traffic Grooming in IP over Optical Networks”, Università di Trento, Dipartimento, 2008.

[SIP01] Sipos A., Jereb L.: Kommunikációs hálózatok modellezése és tervezése a gyakorlatban, Híradástechnika, 2008/8, pp.

[ZSO03] Z. Zsóka, L. Jereb, T. Izsó, F. Unghváry, FLEXPLANET, a Flexible Multi-Layer Network Design Tool, Proc. of 13th International Telecommunications Network Strategy and Planning Symposium, NETWORKS 2008, Budapest 2008, Sept. 28 – Oct. 2, page 1-7.

[BAB01] E. Babics, É. Csákány, T. Jakab, R. Konkoly, L. Szandi, „Operational Databases-related Multi-Layer Network Modeling to Support Network Development at Magyar Telekom”, Proc. of 13th International Telecommunications Network Strategy and Planning Symposium, NETWORKS 2008, Budapest 2008, Sept. 28 – Oct. 2, page 1-8.

4. Összefoglaló értékelés

A projekt alapvetően megfelelt a munkatervben tervezettnek, a konszolidáció témakörében elért eredmények túl is mutatnak az eredeti terveken. A projekt során eredmények születtek a differenciált megbízhatósági követelményeket kielégítő hálózatok, a védett hálózatok időszakos konszolidálása, valamint a hálózatmodellezési és analízis eredmények optikai hálózat feletti IP szolgáltatásokra való kiterjesztése témakörében.

A munkatervben tervezett 1-3 PhD értekezés teljesült (2 védés is megtörtént; Pándi Zs., Zsóka Z.), a publikációk mennyisége is megfelelt a tervezettnek. Sajnálatos ugyanakkor, hogy 4 esetben (Szegedi P., Lakatos Zs., Kárász T., Unghváry F.), bár a publikációs követelményeket teljesítették, az érintettek - eredményeik jelentőségének külső felismeréséből következően - olyan vonzó ajánlatokat kaptak, hogy a PhD folyamat lezárása nélkül távoztak az egyetemi környezetből.

Az eredmények nemcsak elméletileg érdekesek, hanem részben éppen a fiatal kutatók eltávozásából is adódóan túlmutattak az elméleti kérdéseken, és gyakorlati alkalmazást is nyertek.